第 42 卷 增刊
1999 年 8 月

昆 虫 学 报
ACTA ENTOMOLOGICA SINICA

Vol.42, Suppl.
Aug., 1999

麦双尾蚜在中国的适生区预测*

梁宏斌 张润志 张广学
（中国科学院动物研究所，北京 100080）

摘要 根据麦双尾蚜 *Diuraphis noxia*（Mordvilko）在中国新疆的分布地点，对 CLIMEX 软件中适宜温度上限、限制性高温、有效积温、冷逆境开始积累点、热逆境开始积累点、冷逆境积累速率、热逆境积累速率和湿逆境积累速率等参数值进行修改调试，调整后的 CLIMEX 生态气候模型，对新疆麦双尾蚜分布的模拟准确率达到 90%。由此模型进行预测，云南、新疆、黑龙江、青海、西藏、吉林、辽宁、甘肃、宁夏、内蒙古、山西和山东等 12 个省（区）存在麦双尾蚜的适生区。以麦双尾蚜在新疆发生程度和小麦分布区的关系，对 CLIMEX 的预测结果进行修正，据此推测山东不适合麦双尾蚜生存，东北、西北和西南春麦区麦双尾蚜生存适宜程度比 CLIMEX 模型预测值降低 1/2～3/4。

关键词 麦双尾蚜，CLIMEX 模型，适生区，预测，中国

麦双尾蚜 *Diuraphis noxia*（Modvilko）是世界性麦类害虫，自 1978 年和 1986 年先后传入南非和美国后，给这两国小麦和大麦生产造成巨大损失，引起世界范围的广泛关注[1,2]。我国于 1976 年在新疆发现麦双尾蚜，并开展了许多研究，取得了一定进展[3]。由于在澳大利亚、我国主要麦区等还没有发现麦双尾蚜，因此对麦双尾蚜适生区的预测成为十分关注的问题。CLIMEX 生态气候模型广泛应用于昆虫适生区的预测，被认为具有较高的准确性[4]。Hughes 等利用该模型预测了世界上许多国家和地区对麦双尾蚜的适宜性[5]，其中涉及到我国新疆麦双尾蚜的分布情况，结果与实际调查情况有较大出入。如根据 Hughes 等的预测结果，新疆的和田、库车和喀什等地有麦双尾蚜分布，但经过多年的调查，在以上地区并没有发现麦双尾蚜[3]；预测结果认为和布克赛尔和昭苏等地，不适合麦双尾蚜的生存，事实上这些地区麦双尾蚜广泛存在[3]。本文利用 CLIMEX 模型对麦双尾蚜在中国的适生区进行了分析预测。

1 CLIMEX 简介

CLIMEX 软件是 Maywald 和 Sutherst 组建的动态模拟模型[4]。在模型组建中有两个假设：第一，气候是影响某物种地理分布和数量的最重要因素；第二，该物种在一年内经历两个时期，即适合其种群增长时期和不适合甚至危及其生存的时期。根据某物种的已知地理分布及数量来估计该物种所需的气候条件，或直接使用物种生长发育的生物学数据，作为模型

* 国家自然科学基金（批准号：39670109）、中国科学院重点项目（KS85-110-01，KZ952-S1-108）和中国科学院动物研究所所长基金资助项目
1999-01-29 收稿，1999-06-08 收修改稿

参数值。无论根据估计出的数据或实测的数据，CLIMEX 都可运算出每周和每年的种群生长指数（Growth index，GI），并计算出种群在不适宜季节的四个逆境指数值，即冷逆境指数（Cold stress，CS）、热逆境指数（Heat stress，HS）、干逆境指数（Dry stress，DS）、湿逆境指数（Wet stress，WS），生长指数 GI 和逆境指数再综合为生态气候指数（Ecoclimatic index，EI）。模型以这些指数为衡量尺度来比较（预测）其它地点气候条件对物种的适宜程度。如果预测地点的生态气候指数 EI>0，则表示该地点适合其生存；EI = 0，则不能生存，其值大小反映适合度大小。具体计算公式为：

$$EI = 100(\sum_{i=1}^{52} GI)/52 \times SI \times SX$$

式中：$GI = TI \times MI \times DI$，$SI = (1 - CS)(1 - DS)(1 - HS)(1 - WS)$，$SX = (1 - CDX)(1 - CWX)(1 - HDX)(1 - HWX)$。

方程式中 GI 为每周种群潜在增长指数，近似于内禀增长率[4]。TI、MI、DI 分别为每周温度指数、湿度指数和滞育指数，CS、DS、HS 和 WS 分别表示每年冷、干、热和湿逆境指数，CDX、CWX、HDX 和 HWX 分别表示冷-干、冷-湿、热-干、热-湿的相互作用的指数。这些指数的大小都是从 0 到 1。这 4 个相互作用指数很少使用，如果物种无滞育现象则滞育指数也不用。EI 大小范围为 0～100。

2 研究方法

Hughes 利用 CLIMEX 对我国新疆的预测结果，与实际调查结果有较大出入，可能原因有两个：选点较少；新疆麦双尾蚜对温、湿度的反应与其它地点有差异。因此，本研究一方面增加新疆模拟地点，另一方面以新疆麦双尾蚜的研究及调查结果为主要数据，进行模拟和预测。

2.1 扩充模型的气候数据库

Hughes 应用的 CLIMEX 程序数据库中，新疆的气象站点有 5 个：乌鲁木齐、伊宁、和田、库车和喀什。本项研究新增加新疆 18 个气象站的资料。在新增的样点中，阿勒泰市、哈巴河县、布尔津县、福海县、塔城市、和布克赛尔县、托里县、额敏县、新源县、昭苏县、哈密市沁城乡、巴里坤县三塘湖乡 12 个点有麦双尾蚜分布。青河县、沙湾县、乌苏县、阿克苏市、哈密市、伊吾县 6 个点没有麦双尾蚜分布。

2.2 CLIMEX 参数选择

预测主要使用 17 个参数（表 2），分别为：发育起点温度 DV0、生长最适宜温度范围 DV1～DV2、致死高温 DV3、有效发育积温 PDD、生长发育所需最低湿度 SM0 和最高湿度 SM3、最适宜湿度范围 SM1～SM2、低温逆境开始积累的温度 TTCS 和积累速率 THCS、高温逆境开始积累的温度 TTHS 和积累速率 THHS、干燥逆境开始积累的湿度值 SMDS 和积累速率 HDS、湿度逆境开始积累的湿度值 SMWS 和积累速率 HWS。参数值的确定是根据该蚜虫的生物学数据（如发育起点温度、适宜温度等）及模型使用手册提供的参考数值为起始数据，对已知分布区进行模拟。不断调整参数值的大小直到模拟结果和实际分布达到最大的吻

合程度（同时也兼顾中亚一些地区的麦双尾蚜发生情况），用所得到的参数值预测其它地区对麦双尾蚜的适生程度。

2.3　待测地点的选择

对麦双尾蚜在我国适生区的预测，共选择了分布于全国 32 个省、市、自治区的 103 个地点，其中需要预测的为 80 个地点，新疆的 23 个地点是用来确定模型参数值的模拟样点（表 1）。

表 1　麦双尾蚜适生区预测参选地点

Table 1　Candidate sites for predicting suitable areas of Russian wheat aphid（RWA）existence

省、直辖市、自治区 Prov.，Mun.，AR*	地点（地区、市、县） Site（Prefecture，City，County）
安徽 Anhui	蚌埠 Bengbu，芜湖 Wuhu
北京 Beijing	北京 Beijing
重庆 Chongqing	重庆 Chongqing
福建 Fujian	福州 Fuzhou，南平 Nanping，厦门 Xiamen，芷江 Zhijiang
甘肃 Gansu	安西 Anxi，兰州 Lanzhou，天水 Tianshui，玉门 Yumen
广东 Guangdong	广州 Guangzhou，梅州 Meizhou，汕头 Shantou，阳江 Yangjiang，湛江 Zhanjiang
广西 Guangxi	北海 Beihai，百色 Bose，桂林 Guilin，南宁 Nanning，梧州 Wuzhou
贵州 Guizhou	贵阳 Guiyang
海南 Hainan	海口 Haikou，榆林 Yulin
河北 Hebei	承德 Chengde，林西 Linxi，石家庄 Shijiazhuang
河南 Henan	开封 Kaifeng，南阳 Nanyang，信阳 Xinyang
黑龙江 Heilongjiang	黑河 Heihe，齐齐哈尔 Qiqihar，哈尔滨 Harbin，佳木斯 Jiamusi，牡丹江 Mudanjiang
香港 Hong Kong	香港 Hong Kong
湖北 Hubei	恩施 Enshi，武汉 Wuhan，宜昌 Yichang
湖南 Hunan	长沙 Changsha，郴州 Chenzhou，衡阳 Hengyang
内蒙古 Inner Mongolia	海拉尔 Hailar，呼和浩特 Hohhot，苏尼特左旗，Sonid Zuoqui
吉林 Jilin	长春 Changchun，延吉 Yanji
江苏 Jiangsu	南京 Nanjing，徐州 Xuzhou
江西 Jiangxi	赣州 Ganzhou，九江 Jiujiang，南昌 Nanchang
辽宁 Liaoning	大连 Dalian，沈阳 Shenyang，营口 Yingkou
宁夏 Ningxia	银川 Yinchuan
青海 Qinghai	格尔木 Golmud，西宁 Xining，玉树 Yushu
山东 Shandong	济南 Jinan，烟台 Yantai，青岛 Qingdao
山西 Shanxi	太原 Taiyuan
陕西 Shaanxi	西安Xi' an
上海 Shanghai	上海 Shanghai
四川 Sichuan	巴塘 Batang，成都 Chengdu，西昌 Xichang，宜宾 Yibin
台湾 Taiwan	花莲 Hualien，台北 Taipei
天津 Tianjin	天津 Tianjin
西藏 Xizang	拉萨 Lhasa
新疆 Xinjiang	和田 Hotan，喀什 Kashi，库车 Kuqa，乌鲁木齐 Urumqi，伊宁 Yining，阿克苏 Aksu，阿勒泰 Altay，布尔津 Burqin，额敏 Emin，福海 Fuhai，哈巴河 Habahe，哈密 Hami，和布克赛尔，Hoboksar，沁城 Qincheng，清河 Qinghe，三塘湖 Santanghu，沙湾 Shawan，塔城 Tacheng，托里 Tuoli，乌苏 Usu，伊吾 Yiwu，新源 Xinyuan，昭苏 Zhaosu
云南 Yunnan	昆明 Kunming，蒙自 Mengzi，腾冲 Tengchong，昭通 Zhaotong
浙江 Zhejiang	杭州 Hangzhou，温州 Wenzhou

* Prov. = Province; Mun. = Municipality; AR = Autonomous Region. The same for Table 3

2.4 CLIMEX模型中参数值的确定

经过不断的调试，得到CLIMEX模型的参数值（表2）。使用这些参数值模拟新疆20个地点的麦双尾蚜分布情况，模拟准确的有18个，达到90%；仅有三塘湖和伊吾的模拟结果和实际情况不符（表3）。

表2 CLIMEX模型的原始参数值和修改后的参数值

Table 2 Values of parameters in CLIMEX model and those employed in this research

模型参数项目 Parameter in model	原始参数值 Value in CLIMEX	修正参数值 Modified Value
DV0 发育起点温度 Limiting low temp.	3.0	3.0
DV1 适宜温度下限 Lower optimal temp.	15.0	15.0
DV2 适宜温度上限 Upper optimal temp.	25.0	24.0
DV3 限制性高温 Limiting high temp.	40.0	35.0
PDD 有效积温 Minimum day-degree	no	153
SM0 限制性最低湿度 Limiting low moisture	0.0	0.0
SM1 适宜湿度下限 Lower optimal moisture	0.10	0.10
SM2 适宜温度上限 Upper optimal moisture	0.27	0.27
SM3 限制性最高湿度 Limiting high moisture	0.60	0.60
TTCS 冷逆境开始积累点 Cold stress temp. threshold	10.0	7.5
THCS 冷逆境积累速率 Cold stress temp. rate	no	0.00007
TTHS 热逆境开始积累点 Heat stress temp. threshold	33	28
THHS 热逆境积累速率 Heat stress temp. rate	0.003	0.0046
SMDS 干逆境开始积累点 Dry stress threshold	0.05	0.05
HDS 干逆境积累速率 Dry stress rate	0.01	0.01
SMWS 湿逆境开始积累点 Wet stress threshold	0.27	0.27
HWS 湿逆境积累速率 Wet stress rate	0.01	0.004

2.5 CLMEX模型的修正

虽然生态气候模型可以对麦双尾蚜的分布区和非分布区进行定性和定量模拟，但一些地方的EI值可能和实际分布数量有较大出入。作者根据新疆麦双尾蚜的发生程度和小麦分布的关系，对各地的EI值进行校正（具体方法在CLIMEX运行结果后叙述），得到修正后预测参数，以生态气候-寄主指数EHI表示。

3 预测结果

3.1 CLIMEX预测结果

根据调整后的CLIMEX模型，得到中国80个地点的EI值（表3）。结果显示，云南、黑龙江、青海、西藏、吉林、辽宁、甘肃、宁夏、内蒙古、山西和山东等11个省（区）的20个预测点的EI值大于0，说明这些地点有可能成为麦双尾蚜的适生区。在这些地点中，生态气候指数大于或等于9的地区共有10个，其中内蒙古3个点，甘肃2个点，宁夏、吉林、青

海、西藏、云南各1个点。这些适于麦双尾蚜生存的地点主要集中在中国西北、东北和西南地区。

3.2　对CLIMEX预测结果的修正

生态气候模型仅仅考虑到气候因素，虽然气候是影响物种分布的重要条件，但寄主植物的情况无疑决定着麦双尾蚜的分布。在模拟过程中发现，虽然新疆伊宁和塔城气候相似，生态气候指数接近，但由于伊宁市周围仅仅种植冬麦，多次调查发现的麦双尾蚜都极少（但在伊宁进行麦双尾蚜生活型演变实验时证明它可以正常生长和繁殖）。塔城为冬、春麦混合区，麦双尾蚜几乎常年有适宜寄主——小麦存在，数量多、危害严重。另外，模型模拟显示乌鲁木齐为麦双尾蚜分布适宜区，其EI值甚至大于塔城，但多年调查发现麦双尾蚜数量较少，这也可能是仅种植冬麦的缘故，所以有必要根据寄主植物的分布（小麦种植制度）对麦双尾蚜适宜性进行调整。

麦双尾蚜主要取食麦类作物，在小麦收获后不得不依赖杂草生存。假设田间不长小麦时间越长，它对麦双尾蚜生存适宜性越小，两者呈直线关系。在新疆冬麦区，这个非小麦生长期将近5个月（7月份上旬小麦黄熟，11月份麦双尾蚜产卵越冬）。据此，引入一个校正系数，即如果无小麦生长的时间大于或等于5个月，则校正系数为0，如果田间全年有小麦存在，校正系数为1。将生态气候指数（EI）和矫正系数相乘，得到生态气候-寄主指数（EHI）。具体计算方法为：$EHI = EI \times (1 - M/5)$，其中M为无小麦生长的月数，最大值取5。

表3　麦双尾蚜在我国适生区的生态气候指数（EI）

Table 3　Ecoclimatic index of suitability of the candidate areas for RWA in China

地点（地区、市、县）Site (Prefecture, City, County)	省、直辖市、自治区 Prov., Mun., AR*	生态气候指数 Ecoclimatic Index (EI)
巴塘 Batang	云南 Yunnan	23
兰州 Lanzhou	甘肃 Gansu	17
西宁 Xining	青海 Qinghai	17
新源 Xinyuan	新疆 Xinjiang	17
托里 Tuoli	新疆 Xinjiang	16
天水 Tianshui	甘肃 Gansu	14
乌鲁木齐 Urumqi	新疆 Xinjiang	14
银川 Yinchuan	宁夏 Ningxia	13
拉萨 Lahsa	西藏 Xizang	13
呼和浩特 Hohehot	内蒙古 Inner Mongolia	12
包头 Baotou	内蒙古 Inner Mongolia	12
沁城 Qincheng	新疆 Xinjiang	12
伊宁 Yining	新疆 Xinjiang	11
苏尼特左旗 Sonid Zuoqi	新疆 Inner Mongolia	9
延吉 Yanji	吉林 Jilin	9
塔城 Tacheng	新疆 Xinjiang	9
和布克赛尔 Hebukesair	新疆 Xinjiang	9
太原 Taiyuan	山西 Shanxi	8
阿勒泰 Altay	新疆 Xinjiang	8
哈巴河 Habahe	新疆 Xinjiang	8
林西 Linxi	内蒙古 Inner Mongolia	5
哈尔滨 Harbin	黑龙江 Heilongjiang	5
齐齐哈尔 Qiqihar	黑龙江 Heilongjiang	5
布尔津 Burqin	新疆 Xinjiang	5
伊吾 Yiwu	新疆 Xinjiang	5[a)]
大连 Dalian	辽宁 Liaoning	4
玉门 Yumen	甘肃 Gansu	3
营口 Yingkou	辽宁 Liaoning	3
福海 Fuhai	新疆 Xinjiang	3
昭苏 Zhaosu	新疆 Xinjiang	3
额敏 Emin	新疆 Xinjiang	3
烟台 Yantai	山东 Shandong	2
爱辉 Aihui	黑龙江 Heilongjiang	1
牡丹江 Mudanjiang	黑龙江 Heilongjiang	1
三塘湖 Santanghu	新疆 Xinjiang	0[b)]
其它地区 Other areas	–	0

a）预测适合但未调查到麦双尾蚜发生 Suitable in prediction, but no RWA found

b）预测不适合但调查有麦双尾蚜发生 Unsuitable in prediction, but RWA did occur

根据此式计算，塔城冬、春麦区，EHI等于EI，在伊宁和乌鲁木齐等冬麦区，EHI接近于0；在阿勒泰、沁城等春麦区，M约为2～3个月，EHI值约为EI之半。这样可以很好地解决气候条件相似（GI和SI均相近）、

但麦双尾蚜数量有明显差别的矛盾。

利用此公式对EI值修正，华北地区一般只种植冬麦，不适宜麦双尾蚜生存（EHI等于0），其它春麦区的EHI值减少到原来的1/2 ～ 1/3。但此值不固定，例如，黑龙江试验种植冬小麦成功，麦双尾蚜适宜区的EHI会增大。

4 讨论

世界性麦双尾蚜主要分布在冬、春麦混合种植区和春麦区，如乌克兰、俄罗斯西南部、我国新疆北部、埃塞俄比亚、南非、美国西北部和加拿大南部，受害特别严重的地区基本都是冬、春麦混合区，如乌克兰、埃塞俄比亚、南非和美国西北部。由此看出，麦双尾蚜分布不仅仅是气候决定的，寄主植物的丰富程度可能也起着重要作用。我们的预测结果显示：麦双尾蚜的适宜分布区在中国的春麦种植区，如东北、西北和西南地区；在冬麦和春麦区的交界处，如天水和太原也可能适合麦双尾蚜生存。而广大的冬麦种植区一般不适合麦双尾蚜生存，这和世界麦双尾蚜主要在冬、春麦混合区分布现状相一致。

麦双尾蚜有迁飞习性，在加拿大，麦双尾蚜很难越冬，但它在夏季从美国迁入危害冬麦[7,8]。在得克萨斯，麦双尾蚜在秋季迁飞到其南部危害[9]，这是由于在北美西部有其迁飞扩散的适宜气流。中国华北平原，处于东亚季风场，也存在昆虫迁飞所需气流[10,11]，对华北的预测结果仅说明当地整年内不适于麦双尾蚜生存，并不排除它从外地迁入造成季节性危害的可能性。

麦双尾蚜有两种生活周期型。根据Hughes的预测结果[5]，不全周期型麦双尾蚜似乎更耐高温，如麦双尾蚜在得克萨斯州南部可以生存，Hughes在模拟中赋予此地区较大的EI值。但是根据近年报道[9]，该地夏季气温较高，麦双尾蚜一般不能越夏，并且秋季迁入后，为害很轻微。如果不考虑麦双尾蚜迁飞问题，得克萨斯南部对它的生存适宜性很低。Hughes仅仅根据季节性分布确定的模型参数显然高估了麦双尾蚜对高温的适应范围，在预测其它地区（如新疆乌苏、沙湾）时容易发生偏差。麦双尾蚜在新疆为全周期生活型，从分布区看，它适应高温的能力相对较低，用修改后的参数预测华北地区为非适宜区，这是和Hughes预测的最大不同处。

Hughes主要是根据北美、南非的麦双尾蚜分布情况来确定模型参数值的大小，对非洲预测结果和实际分布拟合较好，对欧洲、特别是对亚洲的预测和实际分布相差较大[5]，原因可能是模型所用的参数值对全周期型麦双尾蚜不太合适。我们用修改后的参数预测比较准确地模拟麦双尾蚜在新疆及其附近的分布，用该参数预测中国其它地区对麦双尾蚜适宜性，其结果可能更可靠。

致谢 R.D.Hughes博士寄来麦双尾蚜预测论文，澳大利亚CSIRO提供CLIMEX软件，谨致谢意。

参 考 文 献 (References)

1 Tomlay V, Prinsloo G. Russian wheat aphid (*Diuraphis noxia*) in South Africa. Proceedings of the Sixth Russian Wheat Aphid Workshop, Colorado, 1994, 181～184

2 Anonym. Economic impact of the Russian wheat aphid in the western United States 1991－1992. Proceedings of the Sixth Russian Wheat Aphid Workshop，Fort Collins，Colorado，1994，252～268

3 张润志，张广学. 麦双尾蚜发生现状及研究进展. 中国有害综合治理论文集，北京：中国农业科技出版社. 1996，435～439

4 Maywald G F，Sutherst R W. User's guide to CLIMEX：a computer program for comparing climates in ecology (2nd edition). CSIRO，1991，1～64

5 Hughes R D，Maywald G F. Forecasting the favourableness of the Australian environment for the Russian wheat aphid，*Diuraphis noxia* (Homoptera：Aphididae)，and its potential impact on Australian wheat yields. Bull. Entomol. Res.，1990，80：67～80

6 张　军. 危险性害虫麦双尾蚜的研究——侧重于生物学及种群生态学. 北京：中国科学院博士论文. 1990，35～39

7 Butts R A. Cold hardiness and its relationship to overwintering of the Russian wheat aphid (Homoptera：Aphididae) in South Alberta. J. Econ. Entomol.，1992，85 (3)：1 140～1 145

8 Butts R A. Status of Russian wheat aphid in Canada：1993. Proceedings of the Sixth Russian Wheat Aphid Workshop，Fort Collins Colorado，1994，8

9 Montanton R，Slosser J E，Frank W A. Factors reducing the pest status of the Russian wheat aphid (Homoptera：Aphididae) on wheat in the Rolling Plains of Texas. J. Econ. Entomol.，1993，86：(3)：899～905

10 顾庭敏主编. 华北平原气候. 北京：气象出版社. 1991，60

11 Zhang Zhitao. Insect migratory flight and the insect migration zone. 见：万方浩，夏云龙主编. 昆虫生态学研究. 北京：中国科学技术出版社. 1992，10～16

12 林　伟. CLIMEX-微机生态气候分析系统在有害生物适生性研究中的应用. 植物检疫，1992，7：1～7

PREDICTION OF SUITABLE AREAS FOR RUSSIAN WHEAT APHID SURVIVAL IN CHINA

Liang Hongbin　　Zhang Runzhi　　Zhang Guangxue

(Institute of Zoology，Chinese Academy of Sciences，Beijing　100080)

Abstract　Having estimated certain parameters of the Russian wheat aphid (RWA)，*Diuraphis noxia* (Mordvilko)，in Xinjiang Uygur Autonomous Region，the CLIMEX model was modified to predict the suitability of different areas in China for RWA occurrence. The results showed that 18 out of the 20 selected sites in Xinjiang were in accordance with the actual distribution status of the aphid. Certain areas in Yunnan，Xinjiang，Heilongjiang，Qinghai，Xizang，Jilin，Liaoning，Gansu，Ningxia，Inner Mongolia，Shanxi and Shandong Provinces and Autonomous Regions were also favorable for RWA existence. When the duration of absence of host plants for RWA，i. e. the non-wheat growing period was taken into consideration and incorporated as a parameter in the model，all the winter wheat areas being predicted above as favorable places became unsuitable for RWA while the suitability of the spring wheat areas for the existence of RWA was reduced by 50% to 75%.

Key words　Russian wheat aphid，*Diuraphis noxia* (Mordvilko)，CLIMEX model，favorable area，prediction，China